干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

新疆不同等级暴雨洪涝灾害的时空变化特征

陈　颖[1,2]，　马　禹[2]

（1. 中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所，新疆　乌鲁木齐　830002；2. 新疆气候中心，新疆　乌鲁木齐　830002）

摘　要：基于1961—2019年新疆86个县（市）出现的3220次暴雨洪涝灾害事件，依据灾害中出现的死亡人数、倒塌房屋数、倒塌棚圈数、牲畜死亡数量和农作物受灾面积5种灾情要素构建灾损指数，并根据百分位数方法对灾损指数进行等级划分，对应将暴雨洪涝灾害事件定量划分为一般、较重、严重、特重4个等级，用于评估新疆暴雨洪涝灾害的时空分布及其变化。新疆出现暴雨洪涝灾害次数最多的区域是伊犁河谷、阿克苏地区和喀什地区，同时这3个区域也是出现暴雨洪涝灾情最重的区域。危害性等级较轻（一般、较重）的暴雨洪涝灾害出现次数较多的区域大多集中在新疆北部，随着暴雨洪涝灾害危害程度加重，新疆北部大部分区域严重和特重等级灾害出现次数迅速减少，新疆南部的阿克苏、喀什等地区平均出现次数明显多于全疆其他区域，伊犁河谷各危害性等级出现次数较其他区域为中等到较多，尤其是特重等级暴雨洪涝灾害出现次数位居全疆前三。新疆暴雨洪涝灾害主要出现在夏季，6月和7月出现次数最多。新疆暴雨洪涝灾害出现次数的突变出现在1980年代中期，自1980年代中期起，新疆3—10月降水增多，极端降水事件增加，各危险等级暴雨洪涝灾害出现次数、年出现次数和年灾损指数发生了3.8~5.6倍的增幅；降水量和大雨以上量级的降水日数是形成新疆暴雨洪涝灾害的主要致灾因子。

关 键 词：暴雨洪涝灾害；灾损指数；等级划分；时空差异性

文章编号：

暴雨洪涝灾害是由于长期暴雨或者降水产生的大量积水与径流淹没低洼地区造成人口、经济财产损失的自然灾害[1]。新疆虽然地处西北干旱半干旱地区，暴雨洪涝灾害却是新疆发生频率高、灾害损失重的气象灾害，根据灾害信息统计，近36 a以来新疆有18 a暴雨洪涝灾害的直接经济损失居所有气象灾害损失的第一位。1961—2019年新疆86个县（市）共出现3220次暴雨洪涝灾害事件，几乎每年都有发生，共造成1365人死亡，倒塌房屋超过51.7×10^4间、棚圈16.0×10^4座，死亡牲畜156.3×10^4头，农田受灾面积376.9×10^4 hm^2。可见，新疆暴雨洪涝灾害不仅频率高、损失重，而且灾情涉及种类多，包括人员、农作物、农业设施、牲畜、房屋、棚圈等，仅用灾害经济损失评估暴雨洪涝灾害存在评价机理不够客观、评价结果的可信度不足等问题[2]，这样对于此种灾害的综合评估就需要构建一个能够综合反映暴雨洪涝灾害信息的灾损指数，并能通过灾损指数分析暴雨洪涝灾害的危害程度。

近年来虽然基于GIS技术的暴雨洪涝灾害风险性评估备受关注[3-16]，但仍有众多学者通过数理统计方法进行了暴雨洪涝灾害的灾损指数及危害程度的统计分析研究[17]。基于灾害损失多种要素来评价灾害危害程度的研究显示，根据暴雨发生频次、农作物受灾面积、可比经济损失3种暴雨洪涝评价因子，利用灰色关联分析方法确定暴雨洪涝灾害的严重、重、中等、轻度4个等级[18]；多项研究通过构建灾级指数[19]、灾度指数[20]来评价暴雨洪涝灾害在时间和空间上的危害性；也有研究通过计算暴雨洪

收稿日期：2020-12-07；　**修订日期**：2021-04-06

基金项目：国家重点研发计划“干旱区融雪洪水灾害监测预报和防控关键技术研究与示范”项目（2019YFC1510501）和第二次青藏高原综合科学考察研究项目（2019QZKK0102）资助

作者简介：陈颖（1977-），女，硕士，正高级工程师，主要从事气候学研究. E-mail: meihuazui1206@qq.com

通讯作者：马禹（1967-），女，硕士，研究员，主要从事气候变化研究. E-mail: rainhorse6709@163.com

涝灾害受灾面积比重和成灾面积比重建立相对灾情指数[21-22],或是采用无量纲化法和归一化法构建气象灾害综合损失指数[23],以及利用暴雨洪涝灾害的受灾、成灾和绝收面积构建了综合损失率[24]。

当前对于新疆区域暴雨洪涝灾害危害性的评估,多采用单一要素如直接经济损失、死亡人口等指标要素进行时空变化特征的分析,并未做危害性等级的确定,而新疆整体区域暴雨洪涝灾害的危害性强弱分布和变化亟待识别。因此,本文将基于1961—2019年新疆86个县(市)出现的暴雨洪涝灾害事件,依据灾情要素构建能够综合反映灾害损失严重程度的灾损指数,对暴雨洪涝灾害进行等级划分,进而分析新疆不同等级暴雨洪涝灾害事件的时空分布及其变化。研究成果可为新疆暴雨洪涝灾害致灾因子危险性评估及自然灾害风险区划提供技术依据。

1 研究区概况

新疆地形复杂,阿尔泰山、天山、昆仑山三大山脉的积雪、冰川融水汇集为500多条河流,分布于天山南北的盆地。远离海洋的地理位置和独特的地形地貌形成了新疆大陆性很强的温带干旱气候,有别于我国东部的季风气候区。新疆气候以干旱为主要特征,年平均降水量约160 mm,时空分布很不均匀,降水集中在山区及山脉两侧,沙漠盆地最少。根据新疆的地理特征和降水的气候特点,本文将新疆区域划分为阿勒泰地区、塔(城)额(敏)盆地、博(尔塔拉)州、伊犁河谷、北疆沿天山一带、喀什地区、和田地区、克(孜勒苏)州、阿克苏地区、巴(音郭楞)州、吐鲁番市和哈密市(图1)。

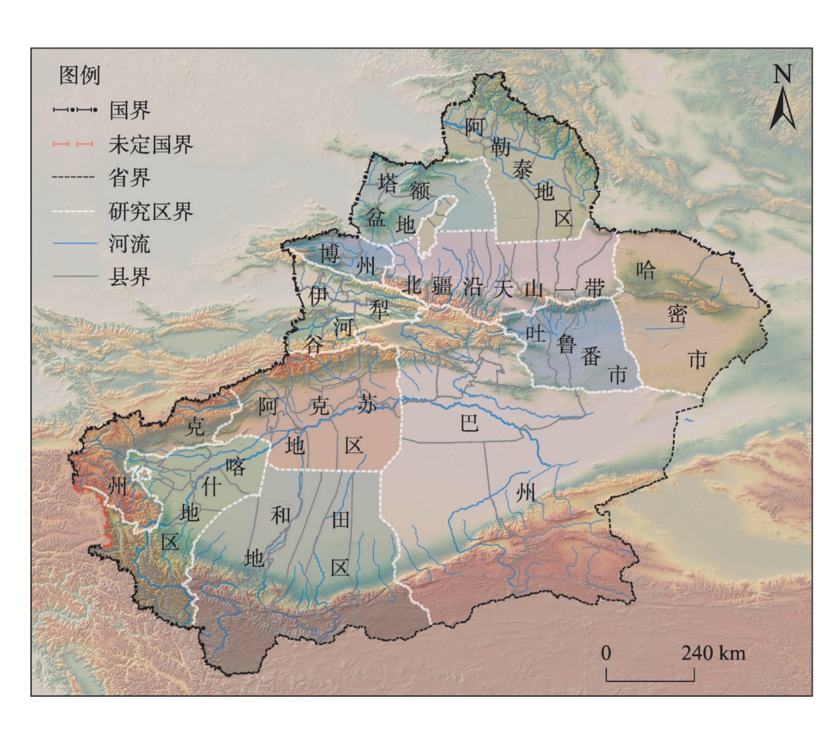
2 资料与方法

2.1 数据资料

本文根据新疆维吾尔自治区民政厅记载的暴雨洪涝灾害灾情信息,整理得到1961—2019年新疆86个县(市)包含出现时间(年月日)、出现区域(县/市),以及死亡人数(人)、倒塌房屋数(间)、倒塌棚圈数(座)、牲畜死亡数量(头)、农作物受灾面积(hm^2)5种灾情要素信息的灾情记录共计3220条。在记录整理过程中,对某一天出现的暴雨灾害,以县(市)为单位对上述5种灾情要素进行整合,并记为这些县(市)各出现一次暴雨灾害。

2.2 灾损指数及其等级阈值的确定

对1961—2019年86个县(市)出现的3220次暴



注:该图基于国家测绘地理信息局标准地图服务网站下载的审图号为GS(2017)1267号的标准地图制作,底图无修改。下同。

图1 研究区示意图

Fig. 1 Map of the study area

雨洪涝灾害事件，首先分别计算5种灾情要素的平均值、最大值，将要素值除以该要素的最大值进行无量纲化；其次，某一灾情要素的无量纲累计值除以5种灾情要素的无量纲总和，即为该灾情要素的权重，记为a（表1）；则某次暴雨洪涝灾害的灾损指数的计算公式[25]为：

表1　灾损指数计算所需的权重、平均值、最大值

Tab. 1　Weight, average, maximum required for calculation of disaster loss index

统计量灾情要素	死亡人数/人	倒塌房屋数/间	倒塌棚圈数/座	牲畜死亡数量/头	农作物受灾面积/hm²
平均值	0.40	160.70	49.70	485.40	1170.50
最大值	35.00	6667.00	12000.00	70000.00	80000.00
无量纲累计值	39.00	77.60	13.30	22.30	47.10
权重	0.20	0.39	0.07	0.11	0.24

$$Z_i = a_1\frac{X_{i1}}{\bar{X}_1} + a_2\frac{X_{i2}}{\bar{X}_2} + a_3\frac{X_{i3}}{\bar{X}_3} + a_4\frac{X_{i4}}{\bar{X}_4} + a_5\frac{X_{i5}}{\bar{X}_5} \quad (1)$$

式中：$i=1, 2, \cdots, n$，$n=3220$；a_1，a_2，$\cdots$，a_5分别为5个灾情要素的权重；$X_{i1}, X_{i2}, \cdots, X_{i5}$分别为该次暴雨洪涝灾害的死亡人数、倒塌房屋数、倒塌棚圈数、牲畜死亡数量和农作物受灾面积；$\bar{X}_1$，$\bar{X}_2$，$\cdots$，$\bar{X}_5$分别为5个灾情要素的平均值。

在计算得到灾损指数之后，将指数由小到大顺序排列，依据百分位数方法[26-28]，分别取第50、75、90百分位灾损指数对应的阈值对灾损指数进行等级划分，具体划分标准见表2。

表2　暴雨洪涝灾害等级划分标准

Tab. 2　Standard for classification of rainstorm and flood

百分位数(r)/%	灾损指数(Z_i)	危害性等级
$r\leqslant 50$	$Z_i\leqslant 0.21963$	一般(1级)
$50<r\leqslant 75$	$0.21963<Z_i\leqslant 0.90931$	较重(2级)
$75<r\leqslant 90$	$0.90931<Z_i\leqslant 2.33651$	严重(3级)
$90<r$	$2.33651<Z_i$	特重(4级)

2.3　统计方法

应用线性倾向估计分析文中各时间序列变化趋势，利用累积距平法确定各时间序列的突变检验结果[28]。年灾损指数为该年所有暴雨洪涝灾害的灾损指数总和，年均灾损指数为1961—2019年逐年灾损指数的平均值。

3　结果与分析

3.1　暴雨洪涝灾害的空间分布

1961—2019年新疆暴雨洪涝灾害1级年均出现次数最多的区域为博州，阿勒泰地区次之，哈密市第三（图2a）；2级年均出现次数前三位的区域是博州、阿克苏地区和阿勒泰地区（图2b）；3级年均出现次数前三位的是喀什地区、克州和阿克苏地区（图2c）；4级年均出现次数前三位的是阿克苏地区、喀什地区和伊犁河谷（图2d）；年均出现次数前三位的区域是伊犁河谷、阿克苏地区和喀什地区（图2e）。1、2级危害性等级平均出现次数较多的区域大多集中在新疆北部，随着危害性等级的提高，新疆北部大部分区域3、4级平均出现次数明显减少，新疆南部如阿克苏地区、喀什地区平均出现次数明显多于全疆其他区域，伊犁河谷各危害性等级的平均出现次数在各区域间一直处于中等到较多的位置，尤其是特重（4级）等级平均出现次数跃居前三。年平均灾损指数前三位的也是伊犁河谷、阿克苏地区和喀什地区（图2f），与年出现次数前三位一致。

为了进一步分析各区域暴雨洪涝灾害的极端强度，分别计算各区域危害性等级出现次数的极大值（图略）。分析表明，1级极大出现次数前三位的是博州、阿克苏地区和阿勒泰地区；2级极大出现次数前三位的是博州、阿克苏地区和和田地区；3级极大出现次数前三位的是伊犁河谷、喀什地区和克州；4级极大出现次数前三位的是伊犁河谷、阿克苏地区和喀什地区；年出现次数极大值前三位的是博州、伊犁河谷和阿克苏地区。可见，博州的极大出现次数主要集中在较轻的危害性等级，伊犁河谷的极大出现次数主要集中在较重的危害性等级，而阿克苏地区在各危害性等级的极大出现次数都较多。各区域年平均灾损指数的极大值前三位分别是伊犁河谷、阿克苏地区和喀什地区，极端强度的分析与平均强度的分析是一致的，这也说明了本文构建的灾损指数及划分的强度等级能够客观准确地反映暴雨洪涝灾害的实际强度。

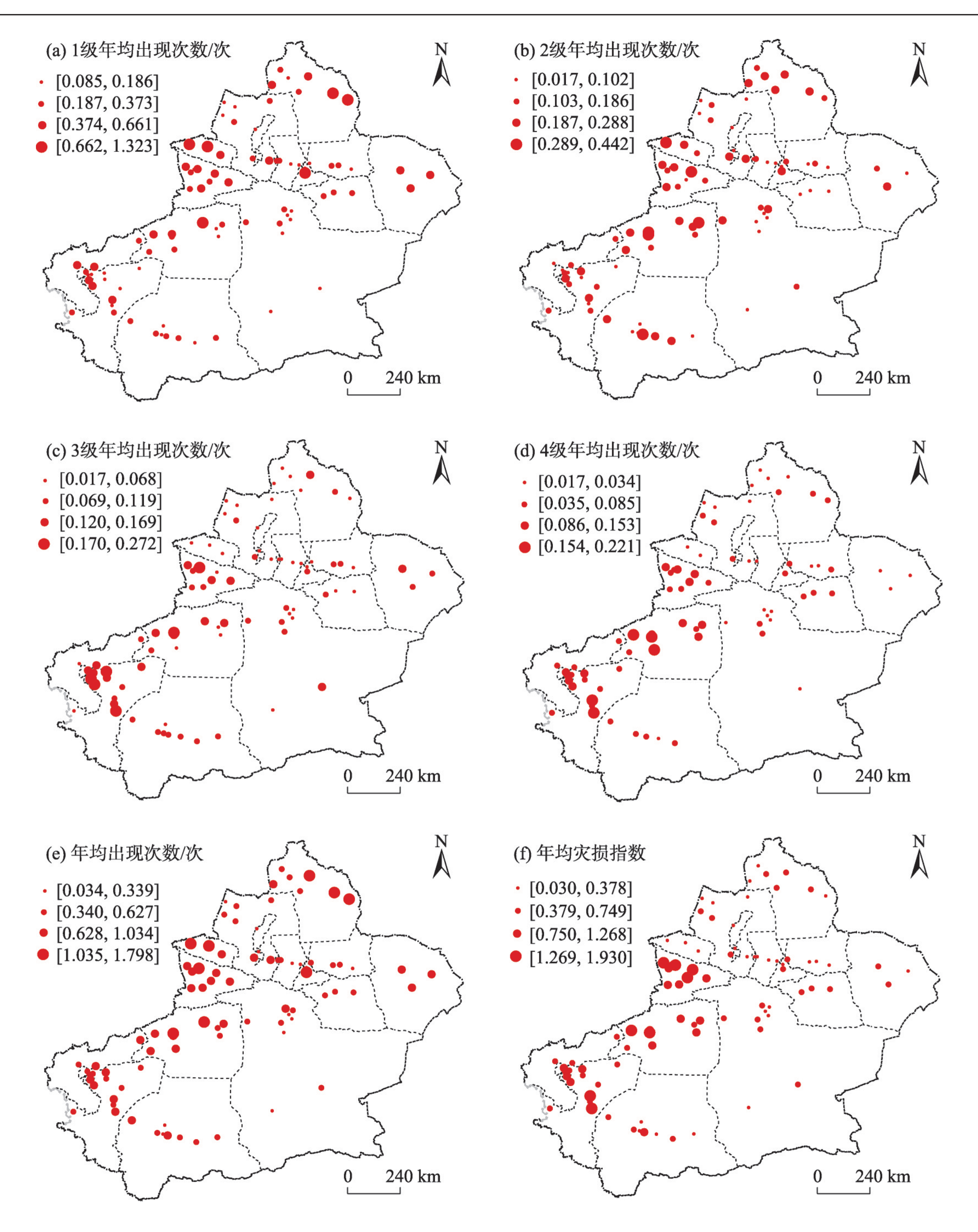
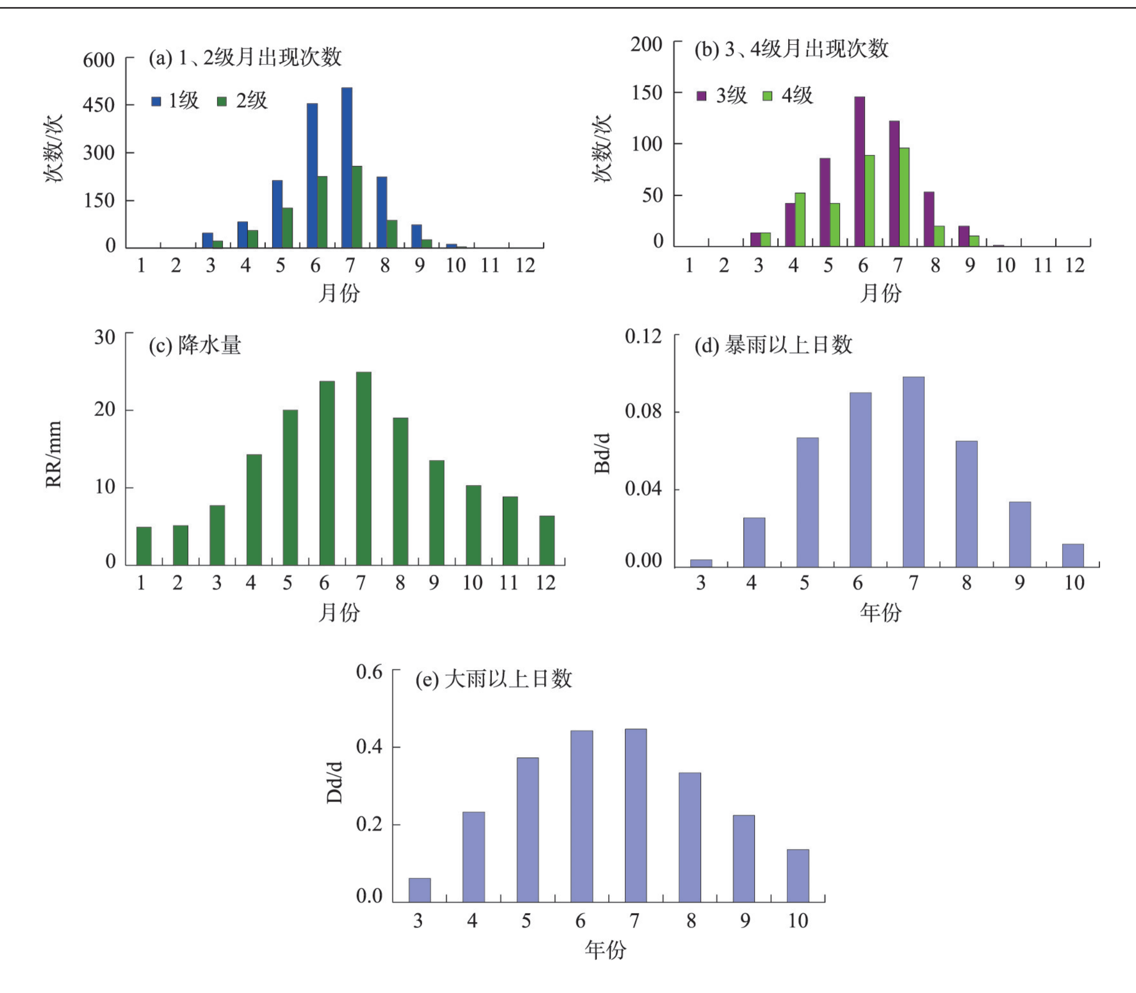


图2 暴雨洪涝灾害各等级年均出现次数和灾损指数的空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of average occurrence times and loss index of rainstorm flood disasters

3.2 暴雨洪涝灾害的月际变化

1961—2019年新疆暴雨洪涝灾害1~4级出现次数分别为1610次、805次、483次和322次。从季节分布来看(图3),各等级夏季出现次数都占了绝对的优势,1~4级夏季出现次数占全年出现次数的百分比分别为73%、71%、66%和64%,随着危害性等级的加重,夏季出现次数的比重有所减轻,但依然占据绝对优势。从月际变化来看,1级暴雨洪涝灾害出现次数最多是7月,6月次之,8月再次;2级暴雨洪涝灾害出现次数前三位的是7、6月和5月;3级暴雨洪涝灾害出现次数前三位的是6、7月和5月;4级暴雨洪涝灾害出现次数前三位的是7、6月和4月。7月和6月是各等级暴雨洪涝灾害出现次数最多和次多的月份,结合新疆月际降水量的分布特



注：RR、Bd、Dd分别为降水量、暴雨以上日数、大雨以上日数。下同。

图3 新疆暴雨洪涝灾害累年出现次数、降水量、暴雨以上出现日数、大雨以上出现日数的月际变化

Fig. 3 Monthly variations of occurrence times, precipitation, occurrence days above rainstorm and occurrence days above heavy rain

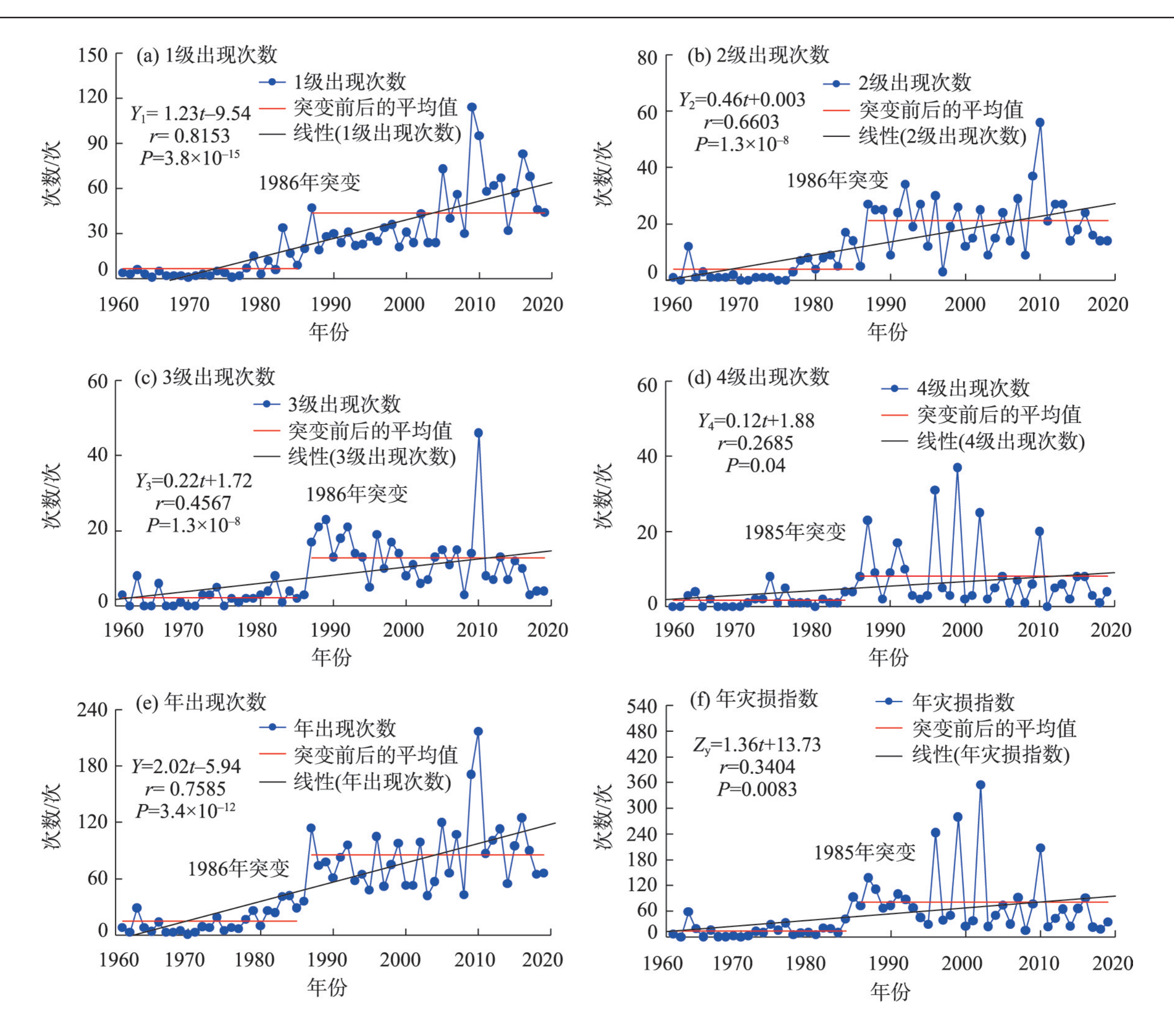
征，7月最多，6月次之，5月第三；而暴雨以上的日数和大雨量级以上的降水日数都是7月最多，6月次之，5月第三。因此，降水作为发生暴雨洪涝灾害的直接物质条件，大雨以上的降水日数与各级暴雨洪涝灾害发生的峰值时间恰好契合。

3.3 暴雨洪涝灾害的年际变化

1961—2019年，新疆各危险等级年暴雨洪涝灾害次数均呈增加趋势，但增加速率各不相同。1~4级暴雨洪涝灾害出现次数的增加速率分别为12.3次·(10a)$^{-1}$、4.6次·(10a)$^{-1}$、2.2次·(10a)$^{-1}$和1.2次·(10a)$^{-1}$，年暴雨洪涝灾害总体出现次数的增加速率为20.2次·(10a)$^{-1}$，年灾损指数的10 a增长率为13.6，以上的年代际增长率都通过了置信度为0.001的显著性检验。

根据对新疆各危险等级年暴雨洪涝灾害次数的累积距平曲线及M-K检验分析，1级出现次数在1986年发生了突变，突变前后的平均值分别为6.6次和43.6次，突变后1级出现次数增加了5.6倍；2级出现次数在1986年发生了突变，突变前后的平均值分别为4.0次和21.2次，突变后2级出现次数增加了4.3倍；3级出现次数也在1986年发生了突变，突变前后的平均值分别为2.3次和12.8次，突变后3级出现次数增加了4.6倍；4级出现次数在1985年发生了突变，突变前后的平均值分别为1.7次和8.2次，突变后4级出现次数增加了3.8倍。年暴雨洪涝灾害出现次数发生突变的时间在1986年，突变前后的平均值为14.9次和85.8次，突变后年出现次数增加了4.8倍。年灾损指数发生突变的时间在1985年，突变前后的平均值为14.0次和82.4次，突变后增加了4.9倍(图4)。突变后增幅最大的危害性等级为1级出现次数；年暴雨洪涝灾害出现次数和年灾损指数突变后的增幅大致相当。

暴雨与洪涝灾害之间存在较强的相关性[29]。新疆暴雨洪涝灾害年出现次数、年灾损指数与降水



注：公式中Y_1、Y_2、Y_3、Y_4、Y分别为暴雨灾害危害性等级为1级、2级、3级、4级、年出现次数；Z_y为年灾损指数；t为时间；r为复相关系数；P为信度水平。下同。

图4　1960—2019年暴雨洪涝灾害出现次数的年际变化和突变

Fig. 4　Interannual change and mutation of occurrence times of rainstorm flood disaster

量(RR)、大雨以上日数(Dd)、暴雨以上日数(Bd)的相关程度较高：年出现次数与3个降水自变量的相关系数均超过了0.60，年灾损指数与3个降水自变量的相关系数均超过了0.45，均通过了置信度为0.001的显著性检验。1961—2019年3—10月降水量、暴雨以上日数及大雨以上日数的增加率分别是6.70 mm·$(10a)^{-1}$，0.05 d·$(10a)^{-1}$、0.20 d·$(10a)^{-1}$，以上的年代际增长率都通过了置信度为0.001的显著性检验。1961—2019年逐年3—10月降水量、暴雨以上日数及大雨以上日数的累积距平显示，它们均在1986年发生了突变。其中，降水量和大雨以上日数的变化特征都反映出序列值从1个气候背景跃变至另1个气候背景中，而暴雨以上日数反映出的是在1986年之后，暴雨以上日数的年际变化幅度急剧增加，年际振幅较大，这种振幅的增加也使得整个序列保持着上升的趋势，但相比于降水量和大雨以上日数，暴雨以上日数的上升速率比较缓慢(图5)。

分别将年出现次数、年灾损指数与降水量、大雨以上日数、暴雨以上日数建立一元线性回归方程(表3)，新疆3—10月降水量、大雨以上日数、暴雨以上日数增加(减少)，暴雨洪涝灾害的年出现次数和年灾损指数都将增加(减少)。从各因变量和自变量的相关系数来看，暴雨洪涝的年出现次数与大雨以上日数相关程度最高，与降水量的相关程度次之，与暴雨以上日数的相关程度再次。因此，对于暴雨洪涝灾害的年出现次数，可重点关注降水量及

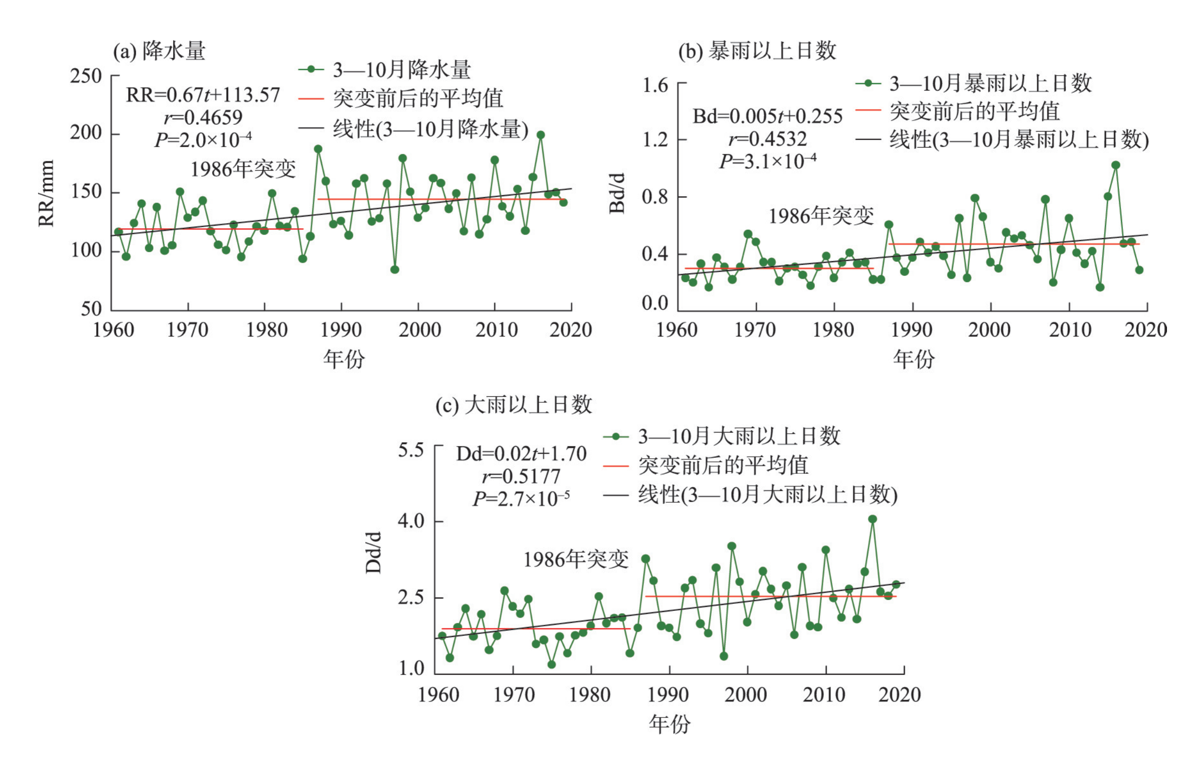


图5　1961—2019年3—10月降水量、暴雨以上日数、大雨以上日数的年际变化

Fig. 5　Interannual variations of precipitations, days above rainstorm, days above heavy rain on March-October during 1961—2019

表3　年出现次数、年灾损指数与3—10月降水量、大雨以上日数、暴雨以上日数之间的相关关系

Tab. 3　Correlation between annual occurrence times, annual disaster loss index and precipitation, days above heavy rain and days above rainstorm

因变量	自变量	相关系数	信度	方程
年出现次数(Y)	降水量(RR)	0.6147	2.2×10^{-7}	Y=1.14RR−98.3
	大雨以上日数(Dd)	0.6299	9.0×10^{-8}	Y=47.40Dd−52.14
	暴雨以上日数(Bd)	0.6028	4.4×10^{-7}	Y=156.02Bd−6.97
年灾损指数(Z_y)	降水量(RR)	0.4743	1.5×10^{-4}	Z_y=1.33RR−122.85
	大雨以上日数(Dd)	0.5051	4.5×10^{-5}	Z_y=57.17Dd−74.13
	暴雨以上日数(Bd)	0.4912	7.8×10^{-5}	Z_y=191.26Bd−20.87

大雨以上日数，也说明了大雨以上量级的降水就可能形成暴雨洪涝灾害。

4　结 论

利用暴雨洪涝灾害的5个主要灾情要素，构建了综合反映暴雨洪涝灾害不同维度灾害损失的灾损指数，并定量划分为一般(1级)、较重(2级)、严重(3级)、特重(4级)4个等级，用于评价新疆1961—2019年不同强度的暴雨洪涝灾害，该灾损指数能够反映出新疆暴雨洪涝灾害出现的平均状况和极端强度。

(1)新疆出现暴雨洪涝灾害次数最多的区域是伊犁河谷、阿克苏地区和喀什地区，同时这3个区域也是出现暴雨洪涝灾情最重的区域。危害性等级较轻的等级(一般、较重)出现次数较多的区域大多集中在新疆北部，随着危害性等级的提高，新疆北部大部分区域严重和特重等级暴雨洪涝灾害出现次数迅速减少，新疆南部如阿克苏地区、喀什地区平均出现次数明显多于全疆其他区域，伊犁河谷各危害性等级的出现次数在各区域间一直处于中等到较多的位置，尤其是特重等级出现次数跃居前三。伊犁河谷是新疆年降水量最多的区域，阿克苏地区和喀什地区短时强降水出现频率高，为出现暴

雨洪涝灾害提供了物质基础。

（2）新疆暴雨洪涝灾害主要出现在夏季，出现最多的月份为6月和7月，这恰好与降水量、大雨以上日数和暴雨以上日数的最多出现月份相同。

（3）新疆暴雨洪涝灾害出现次数的突变出现在1980年代中期，自1980年代中期起，新疆3—10月降水增多，极端降水事件增加，各危险等级暴雨洪涝灾害出现次数、年出现次数和年灾损指数发生了3.8~5.6倍的增幅，降水量和大雨以上量级的降水日数是形成新疆暴雨洪涝灾害的主要致灾因子。

本文利用暴雨洪涝灾损指数，初步评估了新疆1961—2019年的暴雨洪涝灾害事件，分析了不同等级暴雨洪涝灾害的时空变化特征，确定了形成新疆暴雨洪涝灾害的主要致灾因子。研究成果可为新疆暴雨洪涝灾害致灾因子危险性评估及自然灾害风险区划提供技术依据；同时，对极端降水事件的研究也是未来对新疆暴雨洪涝灾害致灾机理研究的一个方向，亟待将来更加细致的研究工作加以解决。

参考文献（References）

[1] 王妮, 崔彩霞, 刘艳. 新疆暴雨洪涝灾害损失的时空特征及其影响因素[J]. 干旱区研究, 2020, 37(2): 325-330. [Wang Ni, Cui Caixia, Liu Yan. Temporal spatial characteristica and the influencing factors of rainstorm flood disasters in Xinjiang[J]. Arid Zone Research, 2020, 37(2): 325-330.]

[2] 周月华, 彭涛, 史瑞琴. 我国暴雨洪涝灾害风险评估研究进展[J]. 暴雨灾害, 2019, 38(5): 494-501. [Zhou Yuehua, Peng Tao, Shi Ruiqin. Research progress on risk assessment of heavy rainfall and flood disasters in China[J]. Torrential Rain and Disasters, 2019, 38(5): 494-501.]

[3] 于文金, 闫永刚, 吕海燕, 等. 基于GIS的太湖流域暴雨洪涝灾害风险定量化研究[J]. 灾害学, 2011, 26(4): 1-7. [Yu Wenjin, Yan Yonggang, Lü Haiyan, et al. GIS-based quantitative research on the risk of rainstorm and flood disaster in Taihu Basin[J]. Journal of Catastrophology, 2011, 26(4): 1-7.]

[4] 张菡, 郭翔, 王锐婷, 等. 四川省暴雨洪涝灾害风险区划研究[J]. 中国农学通报, 2013, 29(26): 165-171. [Zhang Han, Guo Xiang, Wang Ruiting, et al. Research on rainstorm and flood disaster risk zoning in Sichuan Province[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2013, 29(26): 165-171.]

[5] 李梦婕, 汪明, 史培军. 湖南暴雨洪涝灾害损失时空特征及影响因素分析[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2014, 50(4): 429-434. [Li Mengjie, Wang Ming, Shi Peijun. Temporal-spatial distribution of rainstorm-flood disasters in Hunan, China and its affecting factors[J]. Journal of Beijing Normal University (Natural Science), 2014, 50(4): 429-434.]

[6] 杨帅, 苏筠. 县域暴雨洪涝灾害损失快速评估方法探讨——以湖南省为例[J]. 自然灾害学报, 2014, 23(5): 156-163. [Yang Shuai, Su Yun. Exploration of rapid evaluation method for rainstorm flood losses at county level: A case study of Hunan Province[J]. Journal of Natural Disasters, 2014, 23(5): 156-163.]

[7] 李琳, 朱秀芳, 孙章丽, 等. 辽宁省暴雨洪涝灾害风险评估模型的建立与应用[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2015, 51(增刊1): 49-56. [Li Lin, Zhu Xiufang, Sun Zhangli, et al. Establishment and application of rainstorm-flood disaster risk assessment model in Liaoning Province[J]. Journal of Beijing Normal University (Natural Science), 2015, 51(Suppl. 1): 49-56.

[8] 蔡嘉婧, 李晓明. 基于GIS的德阳市暴雨洪涝灾害风险定量化研究[J]. 中国农学通报, 2016, 32(19): 158-163. [Cai Jiajing, Li Xiaoming. Quantitative research on rainstorm & flood disaster in Deyang based on GIS[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2016, 32(19): 158-163.]

[9] 朱卫浩, 陈霞, 邵丽芳, 等. 基于格网的河北省精细化暴雨洪涝灾害风险区划[J]. 中国农学通报, 2016, 32(23): 142-147. [Zhu Weihao, Chen Xia, Shao Lifang, et al. Refined risk zoning of storm and flood disaster in Hebei: Based on grid data[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2016, 32(23): 142-147.]

[10] 谢五三, 吴蓉, 田红, 等. 东津河流域暴雨洪涝灾害风险区划[J]. 气象, 2017, 43(3): 341-347. [Xie Wusan, Wu Rong, Tian Hong, et al. Rainstorm flood risk regionalization of the Dongjin River Basin[J]. Meteorological Monthly, 2017, 43(3): 341-347.]

[11] 廖春贵, 熊小菊, 胡宝清. 基于GIS的广西暴雨洪涝灾害的时空特征与脆弱性评价[J]. 安徽农学通报, 2017, 23(5): 29-33. [Liao Chungui, Xiong Xiaoju, Hu Baoqing. Spatial-temporal distribution and vulnerability assessment of flood disaster in Guangxi based on GIS[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2017, 23(5): 29-33.]

[12] 张杰, 吴明业. 基于GIS的皖南地区暴雨洪涝灾害风险区划[J]. 中国农业资源与区划, 2017, 38(6): 121-129. [Zhang Jie, Wu Mingye. Rainstorm and flood risk regionalization in southern Anhui Province based on GIS[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2017, 38(6): 121-129.]

[13] 殷杰. 基于高精度地形表面模型的城市雨洪情景模拟与应急响应能力评价[J]. 地理研究, 2017, 36(6): 1138-1146. [Yin Jie. Urban pluvial flood scenario modeling and emergency response assessment using high resolution Lidar-DSM[J]. Geographical Research, 2017, 36(6): 1138-1146.]

[14] 高超, 张正涛, 刘青, 等. 承灾体脆弱性评估指标的最优格网化方法——以淮河干流区暴雨洪涝灾害为例[J]. 自然灾害学报, 2018, 27(3): 119-129. [Gao Chao, Zhang Zhengtao, Liu Qing, et al. Study on the optimal grid method in assessment of vulnerability to floods disaster: A case study in the mainstream of Huaihe River Basin[J]. Journal of Natural Disasters, 2018, 27(3): 119-129.]

[15] 杨昭明, 李万志, 冯晓莉, 等. 气候变暖背景下青海汛期暴雨洪涝及次生灾害风险评估[J]. 中国农学通报, 2019, 35(3): 131−138. [Yang Zhaoming, Li Wanzhi, Feng Xiaoli, et al. Risk assessment of rainstorm flood and its secondary disasters during flood season in Qinghai under climate warming[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2019, 35(3): 131−138.]

[16] 李万志, 余迪, 冯晓莉, 等. 基于风险度的青海省暴雨洪涝灾害风险评估[J]. 冰川冻土, 2019, 41(3): 680−688. [Li Wanzhi, Yu Di, Feng Xiaoli, et al. Risk assessment of rainstorm and flood disasters based on the hazard grades/indices in Qinghai Province[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2019, 41(3): 680−688.]

[17] 解文欢, 张有智, 刘述彬. 农业洪涝灾害研究进展[J]. 中国农业资源与区划, 2020, 41(1): 204−211. [Xie Wenhuan, Zhang Youzhi, Liu Shubin. Research progress on agricultural flood disasters [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2020, 41(1): 204−211.]

[18] 姚俊英, 朱红蕊, 南极月, 等. 基于灰色理论的黑龙江省暴雨洪涝特征分析及灾变预测[J]. 灾害学, 2012, 27(1): 59−63. [Yao Junying, Zhu Hongrui, Nan Jiyue, et al. Analysis of flood and disaster forecast in Heilongjiang Province based on grey theory[J]. Journal of Catastrophology, 2012, 27(1): 59−63.]

[19] 胡波, 丁烨毅, 何利德, 等. 基于模糊综合评价的宁波暴雨洪涝灾害风险区划[J]. 暴雨灾害, 2014, 33(4): 380−385. [Hu Bo, Ding Yeyi, He Lide, et al. Risk division of rainstorm and water-logging disasters in Ningbo City based on fuzzy comprehensive evaluation[J]. Torrential Rain and Disasters, 2014, 33(4): 380−385.]

[20] 沈澄, 孙燕, 尹东屏, 等. 江苏省暴雨洪涝灾害特征分析[J]. 自然灾害学报, 2015, 24(2): 203−212. [Shen Cheng, Sun Yan, Yin Dongping, et al. Characteristic analysis of rainstorm-induced flood disaster in Jiangsu Province[J]. Journal of Natural Disasters, 2015, 24(2): 203−212.]

[21] 温泉沛, 周月华, 霍治国, 等. 气候变暖背景下东南地区暴雨洪涝灾害风险变化[J]. 生态学杂志, 2017, 36(2): 483−490. [Wen Quanpei, Zhou Yuehua, Huo Zhiguo, et al. Risk changes of storm flood disasters in southeast China under climatic warming[J]. Chinese Journal of Ecology, 2017, 36(2): 483−490.]

[22] 温泉沛, 周月华, 霍治国, 等. 湖北暴雨洪涝灾害脆弱性评估的定量研究[J]. 中国农业气象, 2018, 39(8): 547−557. [Wen Quanpei, Zhou Yuehua, Huo Zhiguo, et al. Quantitative assessment on vulnerability of storm flood disasters in Hubei Province[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2018, 39(8): 547−557.]

[23] 赵珊珊, 高歌, 黄大鹏, 等. 2004—2013年中国气象灾害损失特征分析[J]. 气象与环境学报, 2017, 33(1): 101−107. [Zhao Shanshan, Gao Ge, Huang Dapeng, et al. Characteristics of meteorological disaster losses in China from 2004 to 2013[J]. Journal of Meteorology and Environment, 2017, 33(1): 101−107.]

[24] 韩兰英, 张强, 杨阳, 等. 气候变化背景下甘肃省主要气象灾害综合损失特征[J]. 干旱区资源与环境, 2019, 33(7): 107−114. [Han Lanying, Zhang Qiang, Yang Yang, et al. Change characteristics of meteorological disaster losses under climatic change in Gansu Province[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2019, 33(7): 107−114.]

[25] 王旭, 储长江, 牟欢. 新疆雪灾空间格局和年际变化特征分析[J]. 干旱区研究, 2020, 37(6): 1488−1495. [Wang Xu, Chu Changjiang, Mu Huan. Spatial pattern and interannual variation characteristics of snow disaster in Xinjiang[J]. Arid Zone Research, 2020, 37(6): 1488−1495.]

[26] 贾俊平. 统计学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004: 68−71. [Jia Junping. Statistics[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2004: 68−71.]

[27] 王昀, 谢向阳, 马禹, 等. 天山北侧成灾雹云移动路径及预警指标的研究[J]. 干旱区地理, 2017, 40(6): 1152−1164. [Wang Yun, Xie Xiangyang, Ma Yu, et al. Moving paths and nowcasting indicators of radar of hail cloud in northern Tianshan Mountains[J]. Arid Land Geography, 2017, 40(6): 1152−1164.]

[28] 赵清波, 李莉. 利用原始资料计算百分位数的方法[J]. 中国卫生统计, 1999, 3(16): 185. [Zhao Qingbo, Li Li. Method of calculating percentiles using raw data[J]. Health Statistics in China, 1999, 3(16): 185.]

[29] Zhai P M, Zhang X B, Wan H, et al. Trends in total precipitation and frequency of daily precipitation extremes over China[J]. Journal of Climate, 2005, 18(7): 1096−1108.

Spatial and temporal characteristics of flood and rainstorm disaster in Xinjiang

CHEN Ying[1,2], MA Yu[2]

(1. Institute of Desert Meteorology, China Meteorological Administration, Urumqi 830002, Xinjiang, China;
2. Xinjiang Climate Center, Urumqi 830002, Xinjiang, China)

Abstract: In this paper, the rainstorm flood damage index was used to evaluate a rainstorm flood disaster in Xinjiang, China from 1961 to 2019, and the temporal and spatial variation characteristics of different grades of rainstorm flood disasters were analyzed. Accordingly, the main disaster factors of rainstorm flood disasters in Xinjiang were determined. Based on 3220 rainstorm flood events in 86 counties (cities) of Xinjiang from 1961 to 2019, a disaster loss index for rainstorm flood disaster events was constructed on the basis of the number of deaths caused by each rainstorm flood disaster, the number of collapsed houses, the number of collapsed sheds, the number of livestock deaths, and the affected area, as disaster factors. According to different threshold ranges of the disaster loss index, each rainstorm flood disaster event was divided into four grades—general, heavy, serious, or severe−and used to evaluate rainstorm flood disasters of varying intensity in Xinjiang from 1961 to 2019. The areas with the most frequent rainstorms and flood disasters were found to be the Ili River Valley, the Aksu Prefecture, and the Kashi Prefecture, and these three areas also experienced the most severe rainstorm and flood disasters. Most of the areas with more frequent occurrence of less harmful (general, heavy) events were concentrated in northern Xinjiang. With the increase in hazard levels, the number of and serious rainstorm flood disasters in most areas of northern Xinjiang decreased rapidly. The average number of events in areas in southern Xinjiang, such as the Aksu Prefecture and Kashi Prefecture, was obviously more than that in other regions of Xinjiang. The number of events of each hazard grade in the Ili River Valley has been moderate to high to other regions, although the number of heavy-grade events has sharply risen. The Ili River Valley has the greatest annual precipitation of any region in Xinjiang. The frequency of short-term heavy precipitation in the Aksu and Kashi regions is also high, providing a material basis for rainstorm flood disasters. The heavy rain and flood disasters in Xinjiang mostly occur in summer, with the most common months being June and July. The pattern is the same regarding the precipitation, the number of days above the heavy rain threshold, and the maximum number of days above the heavy rain threshold. In the mid-1980s, there was a sudden change in the occurrence of rainstorm flood disasters in Xinjiang. Since then, precipitation in Xinjiang from March-October has increased, and extreme precipitation events have also increased. There have also been increases of 3.8−5.6 times in the number of occurrences, annual occurrences, and the annual disaster loss index of rainstorm and flood disasters at each dangerous grade. Precipitation and precipitation days above the heavy rain threshold are the main disaster factors in Xinjiang rainstorm flood disasters. These research results can provide a technical basis for the risk assessment of rainstorm and flood disaster factors and for natural disaster risk regionalization in Xinjiang. At the same time, this study of extreme precipitation events also provides direction for future research on the mechanism of rainstorms and flood disasters in Xinjiang.

Key words: heavy rain flood; disaster loss index; classification; space-time differences